

BEST AVAILABLE COPY

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE



In re Application of:  
**Franz Bauer et al.**

Serial No.: 09/918,653

Filing Date: July 31, 2001

Title: **Circuit Arrangement for Evaluating  
an Acceleration Sensor Using The  
Ferraris Principle**

§  
§  
§  
§  
§  
§  
§  
§  
§

Group Art Unit: 2856

Examiner: **Kwok, Helen C.**

Attny. Docket No. 071308.0187

Client Ref.: 2000P19693US

Mail Stop  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

CERTIFICATE OF MAILING VIA EXPRESS MAIL

PURSUANT TO 37 C.F.R. § 1.10, I HEREBY CERTIFY THAT I HAVE INFORMATION AND A REASONABLE BASIS FOR BELIEF THAT THIS CORRESPONDENCE WILL BE DEPOSITED WITH THE U.S. POSTAL SERVICE AS EXPRESS MAIL POST OFFICE TO ADDRESSEE, ON THE DATE BELOW, AND IS ADDRESSED TO:

MAIL STOP  
COMMISSIONER FOR PATENTS  
P.O. Box 1450  
ALEXANDRIA, VA 22313-1450

EXPRESS MAIL LABEL: EV448725353US  
DATE OF MAILING: AUGUST 9, 2004

SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT

Dear Sir:

We enclose herewith a certified copy of German patent application DE 100 64 835.5 which is the priority document for the above-referenced patent application.

Respectfully submitted,  
BAKER BOTTS L.L.P. (023640)

Date: August 9, 2004

By:   
Andreas H. Grubert  
(Limited recognition 37 C.F.R. §10.9)  
One Shell Plaza  
910 Louisiana Street  
Houston, Texas 77002-4995  
Telephone: 713.229.1964  
Facsimile: 713.229.7764  
AGENT FOR APPLICANTS

09918653 - 08-09-011  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

**CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT**



**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 100 64 835.5

**Anmeldetag:** 22. Dezember 2000

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München/DE

**Bezeichnung:** Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip

**IPC:** G 01 P, G 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. Juli 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

**Kahle**

## Beschreibung

Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip mit einem induktiven Messkopf, der mit einer beweglichen Ferrarisscheibe im wesentlichen über ein Hauptmagnetfeld zusammenwirkt und eine beschleunigungsabhängige Größe liefert.

10

15

Die Erfassung von Geschwindigkeitsänderungen von Antriebswellen werden nach dem Stand der Technik unter anderem auch Beschleunigungssensoren eingesetzt, die gemäß dem Ferrarisprinzip bzw. Drehfeldprinzip arbeiten. Ein solcher Sensor beruht auf dem Induktionsprinzip und wird zur Klasse der Induktionsmesswerke gezählt.

20

Beim Ferrarisprinzip wird als Leiter eine Scheibe benutzt, z.B. aus Aluminium, die drehbar gelagert ist und sich in einem magnetischen Feld bewegt, wobei das magnetische Feld, auch als Hauptfeld bezeichnet, entweder durch einen Permanentmagneten oder mit einer Erregerspule erzeugt werden kann.

25

Auf den Aufbau eines solchen die Ferrarisscheibe umgebenden Messkopfes wird an späterer Stelle noch genauer eingegangen. Durch eine Bewegung der Ferrarisscheibe, z.B. durch Kopplung an eine Antriebsachse, werden Ströme, insbesondere Wirbelströme, in der Ferrarisscheibe induziert, die durch eine Detektorspule ausgewertet werden können und eine der Beschleunigung der Ferrarisscheibe proportionale Größe bereitstellen.

30

35

In der Praxis weisen die Lösungen zur Auswertung eines solchen Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip gemäß der Stand der Technik erhebliche Defizite auf. Insbesondere bei hoher Drehzahl der Ferrarisscheibe fällt die Empfindlichkeit des Sensors stark ab. Die Darstellung nach FIG 1 zeigt

hierzu ein Diagramm, in dem das Ausgangssignal  $V_a$  eines solchen Drehbeschleunigungssensors nach dem Stand der Technik als Funktion der Drehzahl  $\omega$  aufgetragen ist. Daran ist deutlich erkennbar, dass bereits bei einem Drehzahlbereich von  
5 etwa 3000 bis 3500 U/min das Ausgangssignal des Sensors um 3dB abfällt.

Dieser typische Empfindlichkeitsverlauf über der Drehzahl von DC-Ferraris-Sensoren kann einerseits der Dissipation in der  
10 Scheibe, die zu Erhitzung der Scheibe führt, und andererseits dem Wirbelstromfeld zugeschrieben werden, das bei großer Drehzahl kompensierend auf das angelegte DC-Magnetfeld wirkt.

In direkter Extrapolation zum Stand der Technik könnte man  
15 zur Vermeidung dieses unerwünschten Effektes entweder durch Auslegung des Sensors oder durch elektronische Linearisierung, wie z.B. durch Betriebspunktabhängige Verstärkung der Amplitude des Sensorsignals, versuchen, die Empfindlichkeit zu linearisieren.

20 Durch das Design des Sensors kann beispielsweise durch geschickte Wahl des Materials der Scheibe, des angelegten Magnetfeldes und des Spaltes zwischen Kopf und Scheibe der Punkt mit einem Abfall des Nutzsignals um 3 dB zu größeren Drehzahlen hin verschoben werden, jedoch auf Kosten der Empfindlichkeit.

Eine Linearisierung auf elektronischem Wege könnte durch ein drehzahlabhängiges Nachverstärken des Beschleunigungssignals  
30 erfolgen. Dazu muss aber der Empfindlichkeitsverlauf über der Drehzahl und die Drehzahl selbst bekannt sein. Außerdem werden Störgrößen wie Rauschen mitverstärkt, was zu einem geringeren Störabstand bei höheren Drehzahlen führt.

35 Die der vorliegenden Erfindung zugrunde liegende Aufgabe besteht somit darin, einen Ferrarissensor mit Auswerteelektronik so weiter zu entwickeln, dass der Sensor für einen we-

sentlich größeren Drehzahlbereich ertüchtigt wird als aus dem Stand der Technik her bekannt ist und Verluste im Hinblick auf die Empfindlichkeit und den Störabstand möglichst niedrig gehalten werden.

5

Die Erfindung benutzt zur Lösung dieser Aufgabe ebenfalls einen Ferrarissensor, jedoch mit Vorteilen gegenüber dem Stand der Technik, indem der eingangs geschilderte Beschleunigungssensor durch eine Schaltungsanordnung zu dessen Auswertung weitergebildet wird durch einen zusätzlichen Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis mit einem Mittel zu dessen Ansteuerung dahingehend, dass das zusätzliche Gleichstrom-Magnetfeld kompensierend auf ein ab einer höheren Drehzahl der Ferrarisscheibe auftretendes Wirbelstromfeld einwirkt.

10

15

Dies wird erfindungsgemäß und vorteilhaft beispielsweise dadurch erreicht, dass der zusätzliche Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis ein Mittel zur Erzeugung eines zu einem von der Drehzahl der Ferrarisscheibe abhängigen Steuersignal proportionalen Gleichstroms umfasst, der eine Erregerspule durchfließt, die das zusätzliche kompensierende Gleichstrom-Magnetfeld liefert.

20

25

Dabei hat es sich als günstig erwiesen, wenn die Erregerspule derart angeordnet ist, dass das zusätzliche kompensierende Gleichstrom-Magnetfeld im Bereich des induktiven Messkopfes auf die Ferrarisscheibe einkoppelbar ist.

30

35

In Folge der Kompensation des Empfindlichkeitsabfalls durch einen zusätzlichen DC-Magnetfeld-Erregerkreis und dazu erforderliche Mittel zur Ansteuerung gemäß der Erfindung werden die oben genannten Nachteile des Standes der Technik erfolgreich vermieden. Der Erregerkreis enthält ein Mittel zur Stromerzeugung, das einen DC-Strom erzeugt, der proportional zu einem Steuersignal ist und eine Erregerspule, die vom DC-Strom durchflossen wird und ein Magnetfeld erzeugt, das im

Bereich des Kopfes auf die Scheibe eingekoppelt wird und kompensierend auf das DC-Wirbelstromfeld wirkt.

5 Zur Erzeugung des drehzahlabhängige Steuersignals werden zwei Arten vorgeschlagen:

- die Erzeugung des Steuersignals außerhalb des Beschleunigungssensors und
- 10 - die Gewinnung des Steuersignals aus Größen des Beschleunigungssensors.

15 Wird das Steuersignal außerhalb des Beschleunigungssensors generiert, dann funktioniert der Erregerkreis als eine Kompensationsschaltung ohne Regelwirkung.

Nach einer ersten vorteilhaften Ausgestaltung der Auswerteschaltung nach der Erfindung ist durch die Erregerspule das Hauptmagnetfeld zwischen dem induktiven Messkopf und der Ferrarisscheibe proportional zum drehzahlabhängigen Steuersignal  
20 verstärkbar. Dabei hat es sich als günstig herausgestellt, wenn eine Verknüpfung zwischen der Drehzahl der Ferraris-scheibe und dem Steuersignal über eine geeignete Kennlinie erfolgt.

25 Nach einer ebenfalls vorteilhaften alternativen Ausgestaltung der Erfindung ist durch die Erregerspule das Wirbelstromgleichfeld proportional zum drehzahlabhängigen Steuersignal verringerbar.

30 Wird das Steuersignal zur Ansteuerung der Erregerspule nicht im Sensor selbst erzeugt, sondern außerhalb, lassen sich somit grundsätzlich zwei vorteilhafte Arten in der Ausführung unterscheiden.

35 Die Erregerspule wirkt in Richtung des Hauptfeldes:  
Zur Kompensation des Empfindlichkeitsabfalls wird das Hauptfeld erfindungsgemäß mit Hilfe der Erregerspule zusätzlich

proportional zum Steuersignal verstärkt. Das Steuersignal wird mit einem von außen zugeführten Signal, bspw. der Drehzahl, verknüpft. Die Verknüpfung erfolgt über eine Kennlinie. Ist der Verlauf der Empfindlichkeit über der Drehzahl bekannt, kann das Hauptfeld mit Hilfe der Kennlinie invers zur Empfindlichkeit drehzahlabhängig verstärkt werden. Dadurch wird der Empfindlichkeitsabfall zu höheren Drehzahlen hin kompensiert. Das Hauptfeld kann dabei von einem Permanentmagneten oder alleine mit der Erregerspule oder mit Hilfe einer weiteren Erregerspule erzeugt werden.

Die Erregerspule wirkt in Richtung des Wirbelstromfeldes: Die eigentliche Ursache des Empfindlichkeitsabfalls ist das Wirbelstromfeld. Um der Ursache direkt entgegenzuwirken, wird erfindungsgemäß mit einer geeignet angebrachten Wicklung das Wirbelstromgleichfeld direkt kompensiert. Das Steuersignal wird z.B. über einen Proportionalitätsfaktor mit der Drehzahl verknüpft. Da das Wirbelstromgleichfeld proportional zur Drehzahl ist und das Kompensationsfeld dann proportional zur Drehzahl eingestellt wird, führt dies zur Kompensation des Wirbelstromfeldes, was eine Linearisierung des Sensors bewirkt. Die Kompensation muss nicht exakt sein, weil die Empfindlichkeit um Drehzahl Null über einen gewissen Bereich konstant ist. Die Kompensation muss lediglich dafür sorgen, dass der lineare Bereich nicht verlassen wird. Das Hauptfeld kann auch in diesem Fall von einem Permanentmagneten oder mit Hilfe einer weiteren Erregerspule erzeugt werden.

Die Verluste bei höheren Drehzahlen sind größer als ohne Kompensation, jedoch kleiner als bei der vorangehend beschriebenen Kompensation durch Erhöhen des Hauptfeldes.

Wird das Steuersignal aus Größen im Sensor erzeugt, so schließt sich die Wirkungskette zu einem Regelkreis. Es werden dabei gemäß der vorliegenden Erfindung zwei Typen von Regelkreisen vorgeschlagen:

- ein Regelkreis, der zur Erzeugung des Steuersignals das Signal des Beschleunigungssensors durch nachträgliche Integration benutzt.

- 5 - ein Regelkreis, der zur Erzeugung des Steuersignals einen zusätzlichen Magnetfeldsensor, z. B. einen Hallsensor oder einen XMR-Sensor, benutzt.

10 Nach einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung bildet der zusätzliche Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis mit dem Sensor somit einen Regelkreis, indem das drehzahlabhängige Steuersignal aus der beschleunigungsabhängigen Größe des Sensors generierbar ist.

15 Besonders einfach und effektiv ist dies realisierbar, indem das drehzahlabhängige Steuersignal durch einen Integrator durch Integration der beschleunigungsabhängigen Größe generierbar ist.

20 Eine alternative vorteilhafte Ausgestaltung der Auswerteschaltung gemäß der Erfindung gewinnt das drehzahlabhängige Steuersignal somit durch einen weiteren Magnetfeldsensor aus dem magnetischen Feld des Beschleunigungssensors, insbesondere aus dem Feld im Wirbel.

25 Mit der Messung des Feldes und der Regeleinrichtung ist es damit möglich, das Feld im Wirbel auf einen bestimmten Wert (z.B. Null) zu regeln und damit einen Empfindlichkeitsabfall zu vermeiden.

30 Ein weiter vorteilhafte Ausführungsform setzt neben dem Magnetfeldsensor eine Detektorspule zur Erfassung einer durch das magnetische Feld des Beschleunigungssensors, insbesondere das Feld im Wirbel, induzierten Spannung ein.

35 Eine alternative Ausführung der Auswerteschaltung der Erfindung verzichtet auf eine zusätzliche Detektorspule, indem ei-



ne zu einer durch das magnetische Feld des Beschleunigungs-  
sensors, insbesondere das Feld im Wirbel, induzierten Span-  
nung proportionale Größe durch ein Mittel zur Differenziation  
dieses magnetischen Feldes generierbar ist.

5

Indem ein ermittelter kompensierender Gleichstrom einen nie-  
derfrequenten Anteil der Beschleunigung liefert und die durch  
das magnetische Feld des Beschleunigungssensors, insbesondere  
das Feld im Wirbel, induzierte Spannung oder die dazu propor-  
tionale Größe einen hochfrequenten Anteil der Beschleunigung  
liefert können beide Signale zu einem breitbandigen Beschleu-  
nigungssignal kombiniert werden.

10

15

Durch Addition des Messwertes des Magnetfeldsensors mit dem  
Kompensationsstrom lässt sich außerdem auch ein der Drehzahl  
proportionaler breitbandiger Wert ermitteln.

20

Besonders vorteilhaft lässt sich ein solcher Beschleunigungs-  
sensor nach dem Ferrarisprinzip mit einer Auswerteschaltung  
nach der Erfindung in einer numerisch gesteuerten Werkzeugma-  
schine, einem Roboter oder dergleichen einsetzen.

25

Weitere Vorteile und Details der Erfindung ergeben sich aus  
mehreren im folgenden geschilderten vorteilhaften Ausführ-  
ungsbeispielen und im Zusammenhang mit den Figuren. Es zei-  
gen in Prinzipdarstellung:

30

FIG 1      einen typischen Empfindlichkeitsverlauf eines Fer-  
raris-Beschleunigungssensors nach dem Stand der  
Technik,

FIG 2      eine Seitenansicht eines bekannten Messkopfes eines  
Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip,

FIG 3      eine Vorderansicht eines bekannten Messkopfes eines  
Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip,

35

FIG 4      eine Prinzipskizze eines Regelkreises mit Gewinnung  
eines Steuersignals aus einer Größe des Beschleuni-  
gungssensors,

FIG 5 eine Anordnung eines Magnetfeldsensors mit Detektorspule und einer Kompensationswicklung gemäß der Erfindung,

FIG 6 eine Prinzipskizze eines Regelkreises zur Regelung eines Kompensationsstromes und Auswertung der Beschleunigung aufbauend auf einer Anordnung nach FIG 5 und

FIG 7 eine Prinzipskizze eines Regelkreises zur Regelung eines Kompensationsstromes und Auswertung der Beschleunigung wie in FIG 6, jedoch ohne Detektorspule.

Die Darstellung gemäß der FIG 1 wurde bereits eingangs in der Beschreibungseinleitung erläutert. Die FIG 2 und FIG 3 zeigt beispielhaft einen bekannten Messkopf T eines Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip in einer Seitenansicht (FIG 2) und einer entsprechenden Vorderansicht (FIG 3).

Der Messkopf bzw. Tastkopf T ist auf einem Montageblech bzw. in einem Gehäuse 1 aufgebaut und weist eine detektorseitige Flussführungsstruktur 2 sowie eine ferrarisscheibenseitige Flussführungsstruktur 3 für den magnetischen Fluss auf, die einen hufeisenförmigen Querschnitt beschreiben. Die Flussführungsstruktur 3 weist einen ersten Permanentmagneten 4 auf. An die andere Flussführungsstruktur 2 sind am offenen Ende des hufeisenförmigen Querschnitts auf einer Spulenplatine 9 zwei parallel angeordnete Detektorspulen 6 und 6' mit jeweiligem Kern angebracht. Auf dieser wiederum ist jeweils eine Flussführungsstruktur 7 und 7' mit jeweiligen Permanentmagneten 5 so angebracht, dass sich die Permanentmagneten 4 und 5 gegenüberliegen und dazwischen ein Luftspalt frei bleibt, in den die Ferrarisscheibe F eingreift. Die Spulenplatine 9 weist einen Kabelkonnektor 10 zum elektrischen Anschluss z.B. einer Auswerteschaltung auf.

Aufbauend auf einer solchen Anordnung aus Messkopf T und Ferrarisscheibe F zeigt die Darstellung nach FIG 4 ein erstes

Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem Regelkreis mit Nutzung dieses Beschleunigungssensors zur Ermittlung des zusätzlichen DC-Magnetfeldes zu Kompensationszwecken.

- 5 Eine Gewinnung eines Steuersignals aus einer Größe des Beschleunigungssensors T, 6, 6', F erfolgt dabei nach folgendem Prinzip:

10 Ein über die Detektorspulen 6 und 6' erfasstes Beschleunigungssignal  $V_{det}$  wird in einer Verstärkereinrichtung 11 verstärkt, mit einer Filtervorrichtung 12 gefiltert und als Nutzsignal  $V_{\alpha}$  für die Regelung beispielsweise eines mit der drehbaren Ferrarisscheibe verbundenen Antriebes freigegeben.

15 Anschließend wird gemäß der Erfindung das Nutzsignal  $V_{\alpha}$  durch eine nachgeschaltete Integratorschaltung 13 aufintegriert, woraus eine Spannung  $V_{\omega}$  resultiert, die proportional zur Drehzahl  $\omega$  ist. Die Spannung  $V_{\omega}$  wird anschließend an eine Serienschaltung aus einem resistiven Bauelement  $R_K$  und einem  
20 induktiven Bauelement, einer vorzugsweise im Bereich des Messkopfes T angeordneten Erregerspule bzw. Kompensationsspule 14, angelegt und führt so zu einem Strom  $I_K$ , der proportional der Drehzahl  $\omega$  ist.

25 Der Strom  $I_K$  erzeugt auf diese Weise im Bereich des Messkopfes T ein zusätzliches Magnetfeld, das proportional der Drehzahl  $\omega$  ist und dem unerwünschten DC-Wirbelstromfeld entgegenwirkt. Voraussetzung dabei ist, dass durch den Wickelsinn der Kompensationsspule 14 oder durch die Polarität von der Spannung  $V_{\alpha}$  (z.B. über einen Inverter) gewährleistet ist, dass  
30 das Kompensationsfeld die zum Wirbelstromfeld entgegengesetzte Polarität hat.

Eine andere vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung, die  
35 in der FIG 5 veranschaulicht ist, erfasst erfindungsgemäß mit Hilfe einer zusätzlichen Messeinrichtung 15 im Beschleunigungssensor T, F das magnetische Feld. Dies kann z.B. das

Feld  $B_{\text{mess}}$  im Wirbel sein.

Über eine geeignet angebrachte Wicklung 14 zur Kompensation des Wirbelstromgleichfeldes wird der Kompensationsstrom  $I_K$  so  
 5 eingestellt, dass das Feld im Messpunkt  $B_{\text{mess}}$  der Messeinrichtung 15 einen vorgebbaren Wert wie z.B. Null annimmt. Der dazu notwendige Kompensationsstrom  $I_K$  wird dabei von einer im folgenden näher erläuterten Regelung ermittelt.

10 Die FIG 5 zeigt eine entsprechende Anordnung mit Messeinrichtung für das Feld  $+B_{\text{mess}}$  und  $-B_{\text{mess}}$ , nämlich Magnetfeldsensoren 15, 15', und Kompensationswicklungen 14, 14' sowie Detektorspulen 16, 16' zur Erfassung einer induzierten Spannung  $U_{\text{ind}}$  in Prinzipdarstellung. Es ist der Verlauf des Wirbelstroms  $I_W$  in der Ferrarisscheibe F skizziert, die sich mit  
 15 einer Geschwindigkeit  $v$  dreht, und das durch den Wirbelstrom hervorgerufene magnetische Feld  $B$ .

Mit den Magnetfeldsensoren 15 und 15', die in Analogie zu den  
 20 Spulen 6 und 6' des Messkopfes T zweifach vorgesehen sind, wird nun in den beiden Messpunkten  $+B_{\text{mess}}$  und  $-B_{\text{mess}}$  der jeweilige durch den Wirbelstrom  $I_W$  induzierte Magnetfluss  $\Phi_W$  erfasst.

25 Die entsprechend zugeordneten Kompensationswicklungen 14, 14' und die beiden Detektorspulen 16, 16' sind nun in Flussrichtung auf der jeweiligen Achse des induzierten Magnetflusses  $\Phi_W$  so angeordnet, dass durch die mit dem Kompensationsstrom  $I_K$  bzw.  $-I_K$  beaufschlagten Kompensationswicklungen 14, 14'  
 30 das Wirbelstromgleichfeld beeinflussbar und durch die Detektorspulen 16, 16' eine induzierte Spannung  $U_{\text{ind}}$  erfassbar ist, die sich folgendermaßen bemisst:

$$U_{\text{ind}} = k * N * (d \Phi_W / dt) \quad (1)$$

Die Regeleinrichtung kann dabei in verschiedenen Varianten ausgestaltet sein. In einer ersten Variante, die in der FIG 6 gezeigt ist, werden zur Erzeugung des Sensorssignals  $dv/dt$  die Messeinrichtung 15, 15' für das Feld  $B_{mess}$  (Magnetfeld-sensor) und die Detektorspulen 16, 16' zur Erfassung der induzierten Spannung  $U_{ind}$  verwendet.

In der in FIG 7 gezeigten zweiten Variante kann sogar auf Detektorspulen 16, 16' zur Erfassung der induzierten Spannung  $U_{ind}$  verzichtet werden.

Gemäß der ersten Variante nach FIG 6 gilt im einzelnen:

Die Durchflutung ist:

$$\Phi_W = k_W \cdot L_W \cdot I_W - k_K \cdot L_K \cdot I_K \quad (2)$$

Mit  $L_K$  als der Induktivität der Kompensationswicklung 14 und mit  $L_W$  als der Wirbelstrom-Induktivität.

Für das gemessene Feld gilt:

$$B_{mess} = k_m \cdot \Phi_W \quad (3)$$

Für die induzierte Spannung gilt die oben angeführte Berechnungsvorschrift (1).

Für den Zusammenhang der Geschwindigkeit  $v$  der Ferrarisscheibe  $F$  und dem Wirbelstrom  $I_W$  gilt:

$$I_W = v \cdot B \cdot W / R_W \quad (4)$$

mit  $R_W$  als dem Wirbelstromwiderstand.

Aus der Gleichung (4) lässt nun durch Differentiation ableiten:

$$d/dt v = R_W / (B * W) d/dt I_W$$

Mit der Gleichung (2) wird daraus:

$$d/dt v = R_W / (B * W) * (d/dt \Phi_W + k_K * L_K d/dt I_K) / (k_W * L_W) \quad (5)$$

Aus Gleichung (5) wird mit Gleichung (1):

$$d/dt v = R_W / (B * W * k_W * L_W) * (U_{ind} / (k * N) + k_K * L_K d/dt I_K)$$

oder vereinfacht:

$$d/dt v = k_1 * U_{ind} + k_2 d/dt I_K \quad (6)$$

Zur Regelung des Feldes  $B_{mess}$  und Auswertung von Gleichung (6) dient nach dieser Variante erfindungsgemäß die in FIG 6 gezeigte Anordnung, die im folgenden erläutert wird.

Gezeigt ist dabei eine Prinzipskizze der elektrischen Regelung, mit der die Komponenten 14 bis 16 zur Regelung des Kompensationsstromes und Auswertung der Beschleunigung angesteuert bzw. ausgewertet werden. Der Kompensationsstrom  $I_K$  wird aus der Differenz  $-$ , des durch den Magnetfeldsensor 15 ermittelten Wertes  $\Phi_W$  in  $B_{mess}$  und dem Wert Null durch einen PI-Regler 17 ermittelt und in die Kompensationswicklung 14 eingespeist. Weiter wird der Wert  $I_K$  mit einem Faktor  $k_2$  gewichtet und in einem Mittel 18 differenziert. Aus dem dabei erhaltenen Wert wird anschließend durch Addition  $+$  mit der mit dem Faktor  $k_1$  gewichteten, durch die Detektorspule 16 ermittelte induzierten Spannung  $U_{ind}$  eine beschleunigungsabhängige Größe  $d/dt v$  (Beschleunigungswert als Ableitung der Geschwindigkeit  $v$  nach der Zeit  $t$  gemäß Gleichung (6) ermittelt.

Prinzipiell möchte man am Ferraris-Sensor ein möglichst breitbandiges Beschleunigungssignal erhalten. Durch alleinige Auswertung des Kompensationsstromes ist insbesondere bei langsamen Kompensationsregelungen die gewünschte Breitbandigkeit nicht gegeben. In den Anordnungen nach FIG 6 und FIG 7, die im folgenden erläutert werden, enthält das Signal  $I_K$  den niederfrequenten Anteil und  $B_{mess}$  den hochfrequenten Anteil der Beschleunigung  $d/dt v$  bzw. der Drehzahl  $v$  bzw.  $\omega$  selbst. Durch Kombination beider Größen erhält man dann das gewünschte breitbandige Signal für die Beschleunigung.

Ist die Regelung also langsam, so wird stationär  $B_{mess}$  zu Null geregelt und dynamisch entsteht ein Feld, das eine Spannung  $U_{ind}$  induziert. Der Kompensationsstrom  $I_K$  wird mit der Dynamik der Regelung aufgebaut und lässt sich gut differenzieren. Der dynamische Anteil ist in  $U_{ind}$  enthalten. Beide zusammen ergeben das (stationär und dynamisch richtige) Beschleunigungssignal.

Ist die Regelung hingegen sehr schnell, so wird  $B_{mess}$  auch dynamisch zu identisch Null. Nach der Berechnungsvorschrift (3) ist auch dynamisch  $\Phi_w = 0$  und damit die induzierte Spannung  $U_{ind} = 0$ . In dem Fall kann der Zweig mit  $U_{ind}$  und  $k_1$  entfallen. Der Eingang des Differenzierers 18 entspricht dann auch stationär und dynamisch der Drehzahl  $\omega$ .

Für den in FIG 5 skizzierten negativen Regelungsweig mit den Elementen 14', 15' und 16' gilt das voranstehende entsprechend, jedoch unter Berücksichtigung des entsprechenden Vorzeichenwechsels.

Aus der Berechnungsvorschrift (5) lässt sich im weiteren mit Gleichung (3) ermitteln:

$$d/dt v = R_w / (B * W) * (d/dt B_{mess} / k_m + k_K * L_K d/dt I_K) / (k_w * L_w)$$

oder vereinfacht:

$$d/dt v = k_3 d/dt B_{mess} + k_2 d/dt I_K \quad (7)$$

5 Gemäß der Gleichung (7) kann somit erfindungsgemäß sogar die in der Variante nach FIG 6 verwendete Detektorspule 16 entfallen. Stattdessen wird  $B_{mess}$  in einem weiteren Mittel 19 differenziert und mit  $k_3$  gewichtet zu einem der induzierten Spannung  $U_{ind}$  proportionalen Signal 20 weiterverarbeitet.

10

Die Darstellung nach FIG 7 zeigt eine solche an FIG 6 angelehnte Anordnung zur Regelung des Kompensationsstromes  $I_K$  und Auswertung der Beschleunigung. Der Kompensationsstrom  $I_K$  wird genau wie bei FIG 6 beschrieben über den PI-Regler 17 geregelt und über den Faktor  $k_2$  und den Differenzierer 18 weiterverarbeitet. Durch Addition, '+', dieses Signals mit dem Signal 20 erhält man die beschleunigungsabhängige Größe  $d/dt v$  (Beschleunigungswert als Ableitung der Geschwindigkeit  $v$  nach der Zeit  $t$ ) gemäß Gleichung (7).

20

Durch Addition, '+', der mit  $k_3$  gewichteten  $B_{mess}$  und dem mit  $k_2$  gewichteten Kompensationsstrom  $I_K$  lässt sich zudem ein breitbandiger Geschwindigkeitswert  $v$  ermitteln.

25 Ist die Regelung wiederum langsam, so liefert der Zweig über  $I_K$  den stationären, über  $B_{mess}$  den dynamischen Anteil des Beschleunigungswertes.

30

Natürlich kann alternativ zur in FIG 7 gezeigten Ausführungsform auch zuerst addiert und dann (nur einmal) differenziert werden. Dadurch wird einer der Differenzierer 18 oder 19 entbehrlich. Vor der Differentiation liegt das (stationär und dynamisch richtige) Drehzahlsignal  $v$  bzw.  $\omega$  an.

35

Ist die Regelung wiederum sehr schnell, so wird  $B_{mess}$  auch dynamisch zu identisch Null. Der entsprechende Zweig liefert Null, er kann dann entfallen.



Die Verluste bei höheren Drehzahlen sind nach diesem Prinzip zwar größer als ohne erfindungsgemäße Kompensation, jedoch kleiner als bei Kompensation durch Erhöhen des Hauptfeldes. Sie sind identisch wie im Falle der gesteuerten Kompensation.

5

Selbstverständlich lassen sich mit Kenntnis der voranstehenden Ausführungen durch den Fachmann je nach Bedarfsfall weitere vorteilhafte Ausführungsformen konstruieren, die aber allesamt auf dem Prinzip der Kompensation des Wirbelstromgleichfelds nach der Erfindung beruhen.

10

## Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip mit einem induktiven Mess-  
kopf (T), der mit einer beweglichen Ferrarisscheibe (F) im  
wesentlichen über ein Hauptmagnetfeld zusammenwirkt und eine  
beschleunigungsabhängige Größe ( $V_{det}$ ;  $V_{\alpha}$ ) liefert,  
g e k e n n z e i c h n e t d u r c h einen zusätzlichen  
Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis mit einem Mittel zu des-  
sen Ansteuerung dahingehend, dass das zusätzliche Gleich-  
strom-Magnetfeld kompensierend auf ein ab einer höheren Dreh-  
zahl der Ferrarisscheibe (F) auftretendes Wirbelstromfeld  
einwirkt.
2. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der zusätzliche Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis ein Mit-  
tel ( $I_K$ ,  $R_K$ ) zur Erzeugung eines zu einem von der Drehzahl  
( $\omega$ ) der Ferrarisscheibe (F) abhängigen Steuersignal ( $V_{\omega}$ ) pro-  
portionalen Gleichstroms ( $I_K$ ) umfasst, der eine Erregerspule  
(14) durchfließt, die das zusätzliche kompensierende Gleich-  
strom-Magnetfeld liefert.
3. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
die Erregerspule (14) derart angeordnet ist, dass das zusätz-  
liche kompensierende Gleichstrom-Magnetfeld im Bereich des  
induktiven Messkopfes (T) auf die Ferrarisscheibe (F) einkop-  
pelbar ist.
4. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach einem der Ansprüche 1  
bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
durch die Erregerspule (14) das Hauptmagnetfeld zwischen dem  
induktiven Messkopf (T) und der Ferrarisscheibe (F) proporti-

onal zum drehzahlabhängigen Steuersignal ( $V\omega$ ) verstärkbar ist.

5. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
5 sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 4,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
eine Verknüpfung zwischen der Drehzahl ( $\omega$ ) der Ferrarisschei-  
be (F) und dem Steuersignal ( $V\omega$ ) über eine geeignete Kennli-  
nie erfolgt.

10

6. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach einem der Ansprüche 1  
bis 3, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
durch die Erregerspule (14) das Wirbelstromgleichfeld propor-  
15 tional zum drehzahlabhängigen Steuersignal ( $V\omega$ ) verringerbar  
ist.

7. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 6,  
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der zusätzliche Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis (13, 14,  
 $I_K$ ,  $R_K$ ) mit dem Sensor einen Regelkreis bildet, indem das  
drehzahlabhängige Steuersignal ( $V\omega$ ) aus der beschleunigungs-  
abhängigen Größe ( $V\alpha$ ) des Sensors generierbar ist.

25

8. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
das drehzahlabhängige Steuersignal ( $V\omega$ ) durch einen Integra-  
30 tor (13) durch Integration der beschleunigungsabhängigen Grö-  
ße ( $V\alpha$ ) generierbar ist.

9. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 7,  
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
das drehzahlabhängige Steuersignal ( $V\omega$ ) durch einen weiteren  
Magnetfeldsensor (15) aus dem magnetischen Feld des Beschleu-

nigungssensors, insbesondere aus dem Feld ( $B_{\text{mess}}$ ) im Wirbel, ableitbar ist.

5 10. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
der weitere Magnetfeldsensor (15) als Hallsensor oder XMR-  
Sensor ausgebildet ist.

10 11. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 9 oder 10,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
anhand des Messwertes des Magnetfeldsensors (15) das Feld  
( $B_{\text{mess}}$ ) im Wirbel auf einen vorgebbaren Wert, insbesondere zu  
15 Null, regelbar ist.

12. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 9, 10 oder 11,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
20 neben dem Magnetfeldsensor (15) eine Detektorspule (16, 16')  
zur Erfassung einer durch das magnetische Feld des Beschleu-  
nigungssensors, insbesondere das Feld ( $B_{\text{mess}}$ ) im Wirbel, in-  
duzierten Spannung ( $U_{\text{ind}}$ ) vorgesehen ist.

5 13. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 9, 10 oder 11,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass  
eine zu einer durch das magnetische Feld des Beschleunigungs-  
sensors, insbesondere das Feld ( $B_{\text{mess}}$ ) im Wirbel, induzierten  
30 Spannung ( $U_{\text{ind}}$ ) proportionale Größe (20) durch ein Mittel zur  
Differentiation (19) dieses magnetischen Feldes ( $B_{\text{mess}}$ ) gene-  
rierbar ist.

14. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungs-  
35 sensors nach dem Ferrarisprinzip nach Anspruch 12 oder 13,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass

ein ermittelter kompensierender Gleichstrom ( $I_K$ ) einen niederfrequenten Anteil der Beschleunigung liefert und die durch das magnetische Feld des Beschleunigungssensors, insbesondere das Feld ( $B_{\text{mess}}$ ) im Wirbel, induzierte Spannung ( $U_{\text{ind}}$ ) oder  
5 die dazu proportionale Größe (20) einen hochfrequenten Anteil der Beschleunigung liefert und beide Signale ( $I_K$ ;  $U_{\text{ind}}$ , 20) zu einem breitbandigen Beschleunigungssignal kombinierbar sind.

10 15. Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip nach einem der Ansprüche 9 bis 13,

dadurch gekennzeichnet, dass  
durch Addition des Messwertes ( $B_{\text{mess}}$ ) des Magnetfeldsensors  
15 (15) mit dem Kompensationsstrom ( $I_K$ ) ein der Drehzahl ( $v$ ,  $\omega$ ) proportionaler breitbandiger Wert ermittelbar ist.

16. Numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine, Roboter oder dergleichen, mit einem Beschleunigungssensor nach dem Ferrarisprinzip und einer Auswerteschaltung nach einem der vorangehenden Ansprüche.  
20

## Zusammenfassung

Schaltungsanordnung zur Auswertung eines Beschleunigungssensors nach dem Ferrarisprinzip

5

Zur Kompensation eines Empfindlichkeitsabfalls bei hohen Drehzahlen wird ein solcher Beschleunigungssensor mit einem induktiven Messkopf (T), der mit einer beweglichen Ferrarisscheibe (F) im wesentlichen über ein Hauptmagnetfeld zusammenwirkt und eine beschleunigungsabhängige Größe ( $V_{det}$ ;  $V\alpha$ ) liefert, um einen zusätzlichen Gleichstrom-Magnetfeld-Erregerkreis (13, 14,  $I_K$ ,  $R_K$ ) mit einem Mittel zu dessen Ansteuerung dahingehend erweitert, dass das zusätzliche Gleichstrom-Magnetfeld kompensierend auf ein ab einer höheren Drehzahl ( $\omega$ ) der Ferrarisscheibe (F) auftretendes Wirbelstromgleichfeld einwirkt. Dies kann durch Verstärkung des Hauptmagnetfeldes oder durch Verringerung des Wirbelstromgleichfeldes geschehen. Zur Ansteuerung dient ein drehzahlabhängiges Steuersignal ( $V\omega$ ), das sowohl außerhalb des Sensors über eine Kennlinie generierbar ist, als auch in Form eines Regelkreises aus dem Sensorsignal ( $V\alpha$ ) abgeleitet werden kann.

10

15

20

FIG 4

FIG 1

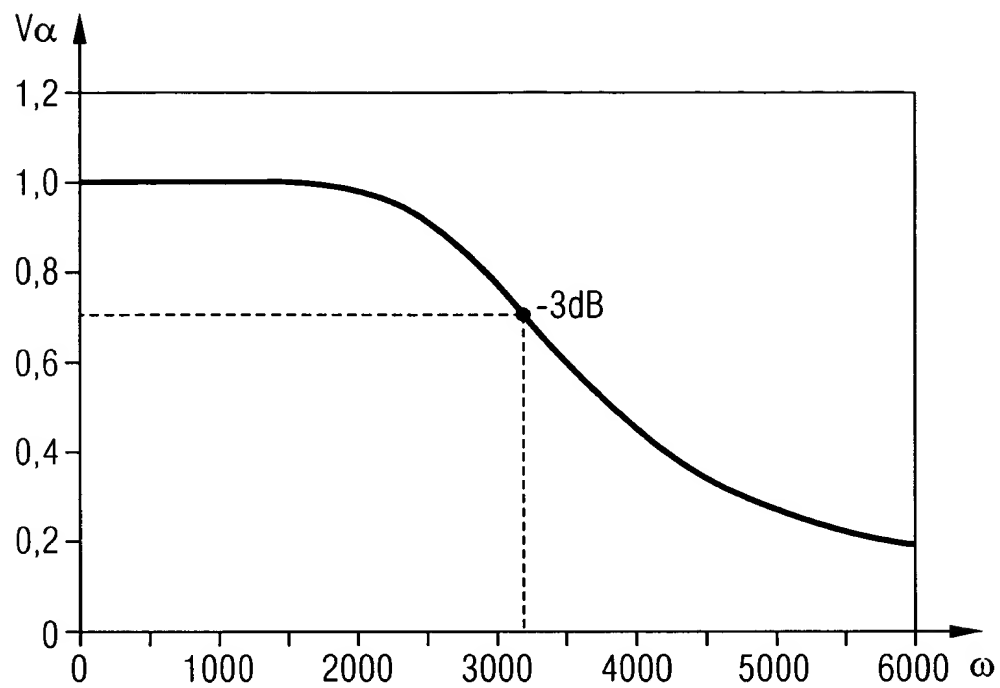


FIG 2

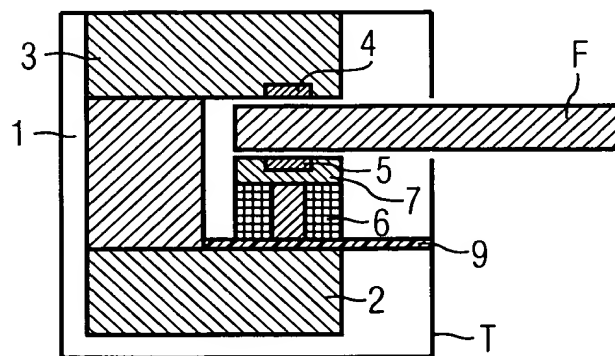


FIG 3

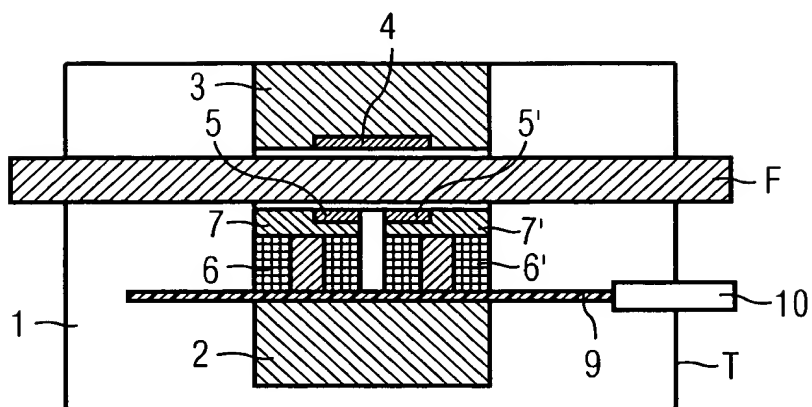
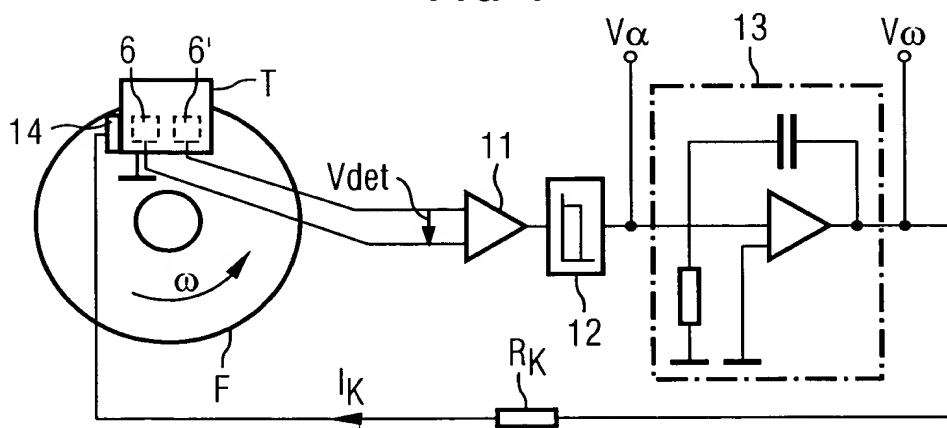


FIG 4





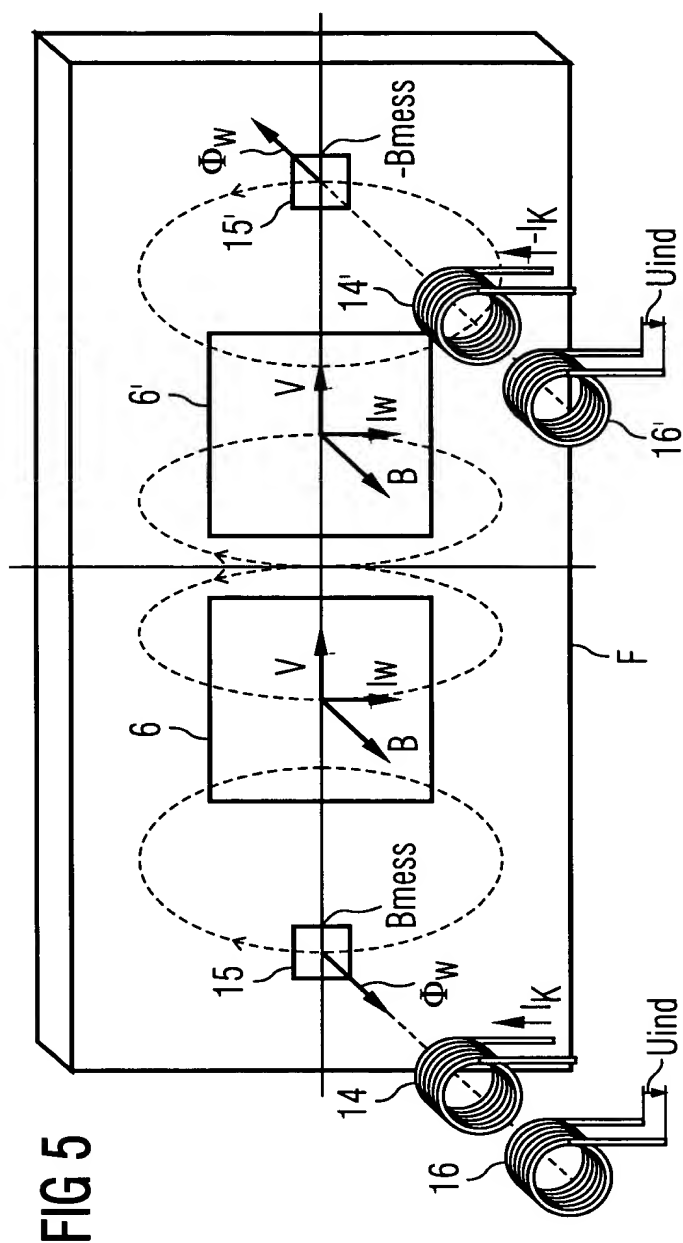


FIG 6

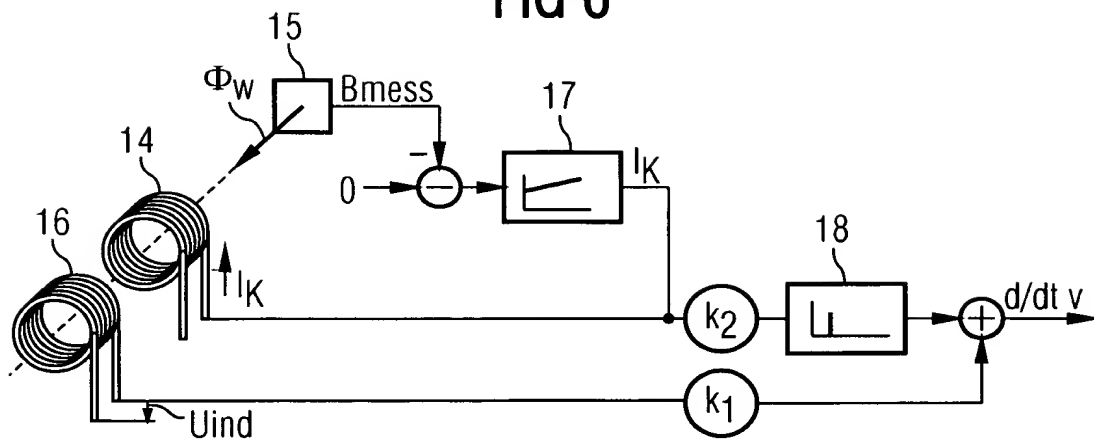
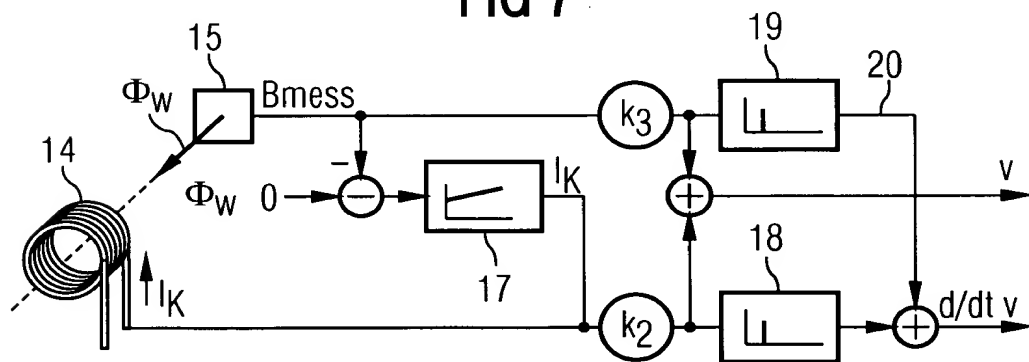


FIG 7



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**